

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10321962 A**

(43) Date of publication of application: **04.12.98**

(51) Int. Cl. **H01S 3/18**
H01L 33/00

(21) Application number: **09131488**

(71) Applicant: **SHARP CORP**

(22) Date of filing: **21.05.97**

(72) Inventor: **HATA TOSHIO**

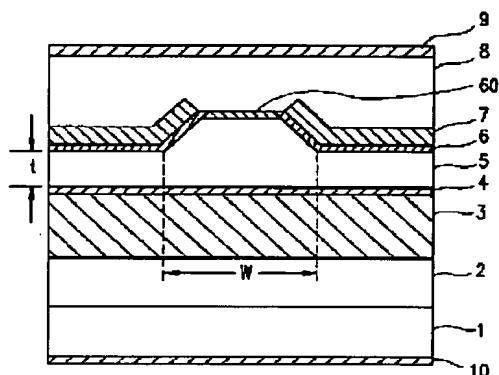
(54) **NITRIDE GALLIUM-BASED COMPOUND
SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT
AND MANUFACTURE**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride gallium-based compound semiconductor light-emitting element having a high-quality regrown interface, with superior electrical characteristics and optical characteristics, and reliability that can be improved.

SOLUTION: In a second crystal growth process, for example, at a temperature of a low-temperature substrate of about 400°C to 650°C, an N-type $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ surface evaporation protecting layer 6 is laminated approximately from 20 nm to 100 nm on an exposed Mg-dope $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ clad layer 5. Next, the substrate temperature is raised approximately to 1050°C and an N-type $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ current blocking layer 7 is selectively grown approximately from 0.5 μm to 1 μm .

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-321962

(43) 公開日 平成10年(1998)12月4日

(51) Int.Cl.⁶

H01S 3/18

H01L 33/00

識別記号

F I

H01S 3/18

H01L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-131488

(22) 出願日 平成9年(1997)5月21日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 幡 俊雄

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

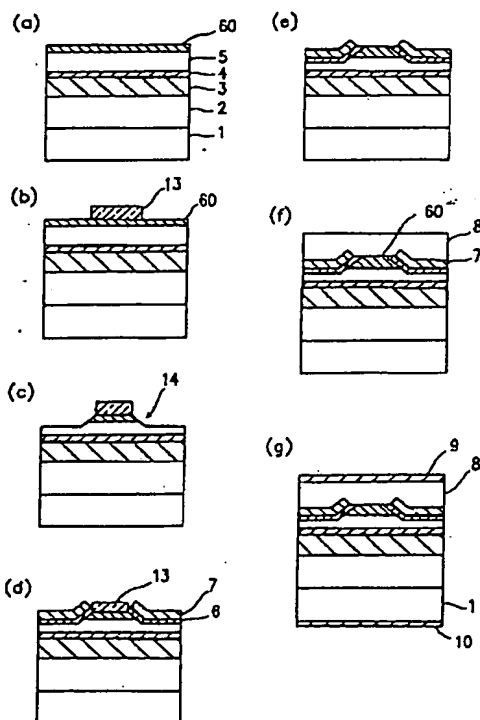
(74) 代理人 弁理士 山本 秀策

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 品質の高い再成長界面を有し、電気的特性及び光学的特性に優れ、信頼性を向上できる窒化ガリウム系化合物半導体レーザを提供する。

【解決手段】 2回目の結晶成長工程において、例えば400℃～650℃程度の低温基板温度にて、露出したMgドープAl_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層5上にN型Al_{0.05}Ga_{0.95}N表面蒸発保護層6を20nm～100nm程度積層する。次に、基板温度を1050℃程度まで昇温し、N型Al_{0.15}Ga_{0.85}N電流阻止層7を0.5μm～1μm程度選択成長させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に積層構造体が形成された窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、

該積層構造体は、

活性層と、

該活性層を挟む一对のクラッド層であって、該一对のクラッド層の内、該基板から遠い方のクラッド層がストライプ状の凸部を有するクラッド層と、

該ストライプ状の凸部上の一部に形成された表面蒸発保護層及び内部電流阻止層と、

該内部電流阻止層及び該基板から遠い方の露出した該クラッド層の表面を覆う再成長層とを備え、該表面蒸発保護層をGa、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で積層した窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項2】 前記基板が導電型基板又は非導電型基板であり、前記表面蒸発保護層が $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq z \leq 1$) であり、前記積層構造体が $Ga_sAl_tIn_{1-s-t}N$ ($0 < s \leq 1$, $0 \leq t < 1$, $0 < s+t \leq 1$) で構成されている請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項3】 前記基板が第一導電型基板であり、前記積層構造体は、

該基板上に形成された第一導電型バッファ層と、

該第一導電型バッファ層上に形成された第一導電型クラッド層と、

該第一導電型クラッド層上に形成された活性層と、

該活性層上に形成され、ストライプ状の凸部を有する第二導電型クラッド層と、

該ストライプ状の凸部表面の一部に積層された第一導電型表面蒸発保護層及び第一導電型内部電流阻止層と、

該第一導電型内部電流阻止層上に積層された第二導電型コンタクト層とを有する請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項4】 前記基板が非導電型基板であり、前記積層構造体は、

該基板上に形成された第一バッファ層、第一導電型の第二バッファ層、第一導電型クラッド層、活性層及びストライプ状の凸部を有する第二導電型クラッド層と、

該ストライプ状の凸部表面の一部に積層された第一導電型表面蒸発保護層及び第一導電型内部電流阻止層と、

該第一導電型内部電流阻止層上に積層された第二導電型コンタクト層とを有する請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項5】 前記低温基板温度が $400^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ である請求項1～請求項4のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項6】 N型基板上にN型Ga_{1-x}Nバッファ層及びN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層を積層する工程と、

該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層の上に $In_yGa_{1-y}N$

($0 \leq y \leq 1$: $x=0$ のとき $y \neq 0$) 活性層を形成する工程と、

該 $In_yGa_{1-y}N$ 活性層の上にP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層及びP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層を積層する工程と、

該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層及び該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ 高濃度層をストライプ状の凸部に形成する工程と、

該凸部表面の一部にN型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq z \leq 1$) 表面蒸発保護層及びN型 $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$)

内部電流阻止層を選択的に積層する工程と、

該N型 $Al_wGa_{1-w}N$ 内部電流阻止層上にP型コンタクト層を積層する工程とを包含し、該N型 $Al_zGa_{1-z}N$ 表面蒸発保護層を積層する工程を、Ga、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で行う窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項7】 P型基板上にP型Ga_{1-x}Nバッファ層及びP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層を積層する工程と、

該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層上に $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$: $x=0$ のとき $y \neq 0$) 活性層を形成する工程と、

該 $In_yGa_{1-y}N$ 活性層上にN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層及びN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層を積層する工程と、

該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層及び該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ 高濃度層をストライプ状の凸部に形成する工程と、

該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層の凸部表面の一部にP型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq z \leq 1$) 表面蒸発保護層及びP型 $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層を選択的に積層する工程と、

該P型 $Al_wGa_{1-w}N$ 内部電流阻止層上にN型Ga_{1-x}Nコンタクト層を形成する工程とを包含し、該P型 $Al_zGa_{1-z}N$ 表面蒸発保護層を積層する工程を、Ga、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で行う窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項8】 非導電型基板上に $Al_dGa_{1-d}N$ ($0 < d < 1$) 第一バッファ層、N型Ga_{1-x}N第二バッファ層及びN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層を形成する工程と、

該N型クラッド層上に $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$: $x=0$ のとき $y \neq 0$) 活性層を形成する工程と、

該 $In_yGa_{1-y}N$ 活性層上にP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層及びP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層を積層する工程と、

該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層及び該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ 高濃度層をストライプ状の凸部に形成する工程と、

該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層の凸部表面の一部にN

型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq z \leq 1$) 表面蒸発保護層及びN型 $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層を選択的に積層する工程と、

該N型 $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層上にP型Ga_{1-x}Nコンタクト層を形成する工程とを包含し、該N型 $Al_zGa_{1-z}N$ 表面蒸発保護層を積層する工程を、Ga、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で行う窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項9】 非導電型基板上に $Al_dGa_{1-d}N$ ($0 < d < 1$) 第一バッファ層、P型Ga_{1-x}N第二バッファ層及びP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層を形成する工程と、

該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層上に $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$: $x=0$ のとき $y \neq 0$) 活性層を形成する工程と、

該 $In_yGa_{1-y}N$ 活性層上にN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層及びN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層を積層する工程と、

該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層及びN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層をストライプ状の凸部に形成する工程と、

該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層の凸部表面の一部にP型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq z \leq 1$) 表面蒸発保護層及びP型 $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層を選択的に積層する工程と、

該P型 $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層上にN型Ga_{1-x}Nコンタクト層を形成する工程とを包含し、該P型 $Al_zGa_{1-z}N$ 表面蒸発保護層を積層する工程を、Ga、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で行う窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項10】 前記低温基板温度が400℃～650℃である請求項6～請求項9のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子及びその製造方法に関し、特に青色領域から紫外光領域で発光可能な窒化ガリウム系化合物半導体レーザや窒化ガリウム系化合物発光ダイオードとして好適な窒化ガリウム系化合物半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 図7は化合物半導体レーザ（化合物半導体レーザ素子）の一従来例を示す。この化合物半導体レーザ素子は、内部電流阻止層を有するInGaAlP系化合物半導体レーザであり、例えば、特開昭62-200786号公報に開示されている。

【0003】 以下にこの半導体レーザの構造を概略製造プロセスと共に説明する。まず、MOCVD装置内において、N型GaAs基板200上にN型GaAsバッ

ァ層201、N型InGaPバッファ層202及びN型InGaAlPクラッド層203をこの順に積層形成し、続いて、N型InGaAlPクラッド層203上にInGaP活性層204を積層形成する。

【0004】 続いて、InGaP活性層204上にP型InGaAlPクラッド層205、P型InGaAlPコンタクト層206及びP型GaAsコンタクト層207を形成する。

【0005】 次に、N型GaAs電流阻止層208及びP型GaAsコンタクト層207を積層し、その後、P型用電極209、N型用電極210を形成し、これで光導波構造及び内部電流阻止層を有するInGaAlP系化合物半導体レーザ素子が作製される。

【0006】 なお、図中の符号205'はエッチングストッパ層を示す。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記のInGaAlP系化合物半導体レーザ素子は、その製造プロセスに起因して、以下に示す問題がある。

【0008】 即ち、この製造プロセスによれば、製造プロセスの途中で、半導体層が積層されたN型GaAs基板200（ウエハー）をMOCVD装置から取り出し、ウェットエッチング又はドライエッチングを用いて、P型InGaAlPクラッド層205にストライプ状の凸部を形成し、この露出したP型InGaAlPクラッド層205の表面を有するウエハーを再びMOCVD装置内にて、露出したP型InGaAlPクラッド層205の表面上の一部にN型GaAs電流阻止層208を再成長する工程を要するが、この再成長工程において、基板温度を約700℃まで昇温しなければならない。

【0009】 このため、この昇温中において、例えば、In、P、Ga、不純物等が蒸発することに起因して、露出したP型InGaAlPクラッド層205表面の表面荒れが発生する。また、凸部のストライプ幅W及びN型GaAs電流阻止層208とInGaP活性層204との間隔tの形状変形が発生する。

【0010】 それ故、上記構造の化合物半導体レーザにおいては、再成長層の内部電流阻止層の結晶性の劣化、凸部のストライプ幅W及び電流阻止層と活性層との間隔tの形状変形に起因して半導体レーザの電気的特性及び光学的特性が劣化し、信頼性が低下するという問題があった。

【0011】 このような問題は、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子においても同様に発生する。

【0012】 本発明は、このような現状に鑑みてなされたものであり、品質の高い再成長界面を有し、電気的特性及び光学的特性に優れ、信頼性を向上できる窒化ガリウム系化合物半導体発光素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、基板上に積層構造体が形成された窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、該積層構造体は、活性層と、該活性層を挟む一対のクラッド層と、該一対のクラッド層の内、該基板から遠い方のクラッド層がストライプ状の凸部を有するクラッド層と、該ストライプ状の凸部上の一部に形成された表面蒸発保護層及び内部電流阻止層と、該内部電流阻止層及び該基板から遠い方の露出した該クラッド層の表面を覆う再成長層とを備え、該表面蒸発保護層をGa、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で積層しており、そのことにより上記目的が達成される。

【0014】好ましくは、前記基板が導電型基板又は非導電型基板であり、前記表面蒸発保護層が $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq z \leq 1$) であり、前記積層構造体が $Ga_sAl_tIn_{1-s-t}N$ ($0 < s \leq 1, 0 \leq t < 1, 0 < s+t \leq 1$) である構成とする。

【0015】また、好ましくは、前記基板が第一導電型基板であり、前記積層構造体が、該基板上に形成された第一導電型バッファ層と、該第一導電型バッファ層上に形成された第一導電型クラッド層と、該第一導電型クラッド層上に形成された活性層と、該活性層上に形成され、ストライプ状の凸部を有する第二導電型クラッド層と、該ストライプ状の凸部表面の一部に積層された第一導電型表面蒸発保護層及び第一導電型内部電流阻止層と、該第一導電型内部電流阻止層上に積層された第二導電型コンタクト層とを有する構成とする。

【0016】また、好ましくは、前記基板が非導電型基板であり、前記積層構造体が、該基板上に形成された第一バッファ層、第一導電型の第二バッファ層、第一導電型クラッド層、活性層及びストライプ状の凸部を有する第二導電型クラッド層と、該ストライプ状の凸部表面の一部に積層された第一導電型表面蒸発保護層及び第一導電型内部電流阻止層と、該第一導電型内部電流阻止層上に積層された第二導電型コンタクト層とを有する構成とする。

【0017】前記の低温基板温度としては、 $400^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ が好ましい。

【0018】また、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法は、N型基板上にN型Ga N バッファ層及びN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層を積層する工程と、該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層の上に $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1 : x=0$ のとき $y \neq 0$) 活性層を形成する工程と、該 $In_yGa_{1-y}N$ 活性層の上にP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層及びP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層を積層する工程と、該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層及び該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ 高濃度層をストライプ状の凸部に形成する工程と、該凸部表面の一部にN型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq z \leq 1$) 表面蒸発保護層及びN型 $Al_wGa_{1-w}N$

($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層を選択的に積層する工程と、該N型 $Al_zGa_{1-z}N$ 内部電流阻止層上にP型コンタクト層を積層する工程とを包含し、該N型 $Al_zGa_{1-z}N$ 表面蒸発保護層を積層する工程を、Ga、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で行うようになっており、そのことにより上記目的が達成される。

【0019】また、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法は、P型基板上にP型Ga N バッファ層及びP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層を積層する工程と、該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層上に $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1 : x=0$ のとき $y \neq 0$) 活性層を形成する工程と、該 $In_yGa_{1-y}N$ 活性層上にN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層及びN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層を積層する工程と、該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層及び該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ 高濃度層をストライプ状の凸状に形成する工程と、該N型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層の凸部表面の一部にP型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq z \leq 1$) 表面蒸発保護層及びP型 $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層を選択的に積層する工程と、該P型 $Al_zGa_{1-z}N$ 内部電流阻止層上にN型Ga N コンタクト層を形成する工程とを包含し、該P型 $Al_zGa_{1-z}N$ 表面蒸発保護層を積層する工程を、Ga、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で行うようになっており、そのことにより上記目的が達成される。

【0020】また、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法は、非導電型基板上に $Al_dGa_{1-d}N$ ($0 < d < 1$) 第一バッファ層、N型Ga N 第二バッファ層及びN型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層を形成する工程と、該N型クラッド層上に $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1 : x=0$ のとき $y \neq 0$) 活性層を形成する工程と、該 $In_yGa_{1-y}N$ 活性層上にP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層及びP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層を積層する工程と、該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層及び該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ 高濃度層をストライプ状の凸部に形成する工程と、該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層の凸部表面の一部にN型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq z \leq 1$) 表面蒸発保護層及びN型 $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層を選択的に積層する工程と、該N型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層上にP型Ga N コンタクト層を形成する工程とを包含し、該N型 $Al_zGa_{1-z}N$ 表面蒸発保護層を積層する工程を、Ga、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で行うようになっており、そのことにより上記目的が達成される。

【0021】また、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法は、非導電型基板上に $Al_dGa_{1-d}N$ ($0 < d < 1$) 第一バッファ層、P型Ga N 第二バッファ層及びP型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層を形成する工程と、該P型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッ

ド層上に $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$: $x=0$ のとき $y \neq 0$) 活性層を形成する工程と、該 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 活性層上にN型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) クラッド層及びN型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層を積層する工程と、該N型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ クラッド層及びN型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) 高濃度層をストライプ状の凸部に形成する工程と、該N型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ クラッド層の凸部表面の一部にP型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 \leq z \leq 1$) 表面蒸発保護層及びP型 $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層を選択的に積層する工程と、該P型 $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($0 \leq w \leq 1$) 内部電流阻止層上にN型 GaN コンタクト層を形成する工程と包含し、該P型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 表面蒸発保護層を積層する工程を、Ga、N、不純物等が蒸発しない低温基板温度で行うようになっており、そのことにより上記目的が達成される。

【0022】前記製造方法における前記低温基板温度としては、 $400^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ が好ましい。

【0023】以下に本発明の作用を説明する。

【0024】上記のように、本発明では、例えば基板温度を約 1050°C まで昇温する前に、基板温度 $400^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ の低温基板温度にて、露出した凸形状(凸部)を有するクラッド層の表面上に表面蒸発保護層を積層し、その後、基板温度を約 1050°C まで昇温して電流阻止層(内部)を積層している。

【0025】このため、本発明によれば、例えば、Ga、N、不純物等が蒸発するのを防止できるので、露出したクラッド層表面の表面荒れを防止できる。また、凸部のストライプ幅W及び内部電流阻止層と活性層の間隔tの形状変形を発生することがない。

【0026】なお、 $400^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ といった低温基板温度にて積層した表面蒸発保護層は多結晶であるが、この表面上に再成長するために基板温度の昇温中に表面蒸発保護層は多結晶から単結晶になり、特に、この表面蒸発保護層の上に再成長する電流阻止層の結晶性に悪影響をおよぼすことはない。

【0027】上記のことより、露出した凸形状を有するクラッド層の表面上に表面蒸発保護層を積層することにより、再成長のための昇温中に、露出した凸形状を持つクラッド層表面の表面荒れ、凸部のストライプ幅W及び電流阻止層と活性層との間隔tの形状変形が発生する問題はなくなるので、品質の高い再成長界面を持つ電気的特性及び光学的特性に優れ、信頼性を向上できる窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を実現できる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図面に基づき具体的に説明する。なお、本発明でいう窒化ガリウム系化合物半導体とは、例えば、 $\text{Ga}_s\text{Al}_t\text{In}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 < s \leq 1$, $0 \leq t < 1$, $0 < s+t \leq 1$) も含むものとする。

【0029】(実施形態1) 図1及び図2は本発明窒化

ガリウム系化合物半導体発光素子の実施形態1を示す。本実施形態1は、本発明を窒化ガリウム系化合物半導体レーザに適用した例を示す。

【0030】なお、本実施形態1の窒化ガリウム系化合物半導体レーザは、有機金属化合物気相成長法(以下MOCVD法)を用い、基板としてN型SiC基板、V族原料としてアンモニア NH_3 、III族原料としてトリメチルガリウム(TMg)、トリメチルアルミニウム(TMI)、P型不純物としてビスシクロペンタデニルマグネシウム(Cp_2Mg)、N型不純物としてモノシラン(SiH_4)を用い、キャリアガスとして H_2 及び N_2 を用いて作製した。

【0031】以下に、図2(a)～(g)に基づき、この窒化ガリウム系化合物半導体レーザの構造をその製造プロセスと共に説明する。

【0032】まず、1回目の結晶成長を行うため、N型SiC基板(ウェハー)1をMOCVD装置(図示せず)のサセプタ上に導入し、基板温度 1200°C 程度まで昇温し、表面処理を施す。次に、N型SiC基板1の基板温度を $500^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ 程度まで降温し、N型SiC基板1にN型Ga_{0.95}Nバッファ層2を $10\text{nm} \sim 4\mu\text{m}$ 程度成長させる。

【0033】次に、基板温度 1050°C 程度まで昇温し、N型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層3を $0.1\mu\text{m} \sim 0.3\mu\text{m}$ 程度成長させる。続いて、基板温度を $800^\circ\text{C} \sim 850^\circ\text{C}$ 程度に降温し、ノンドープ $\text{In}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{N}$ 活性層4を $3\text{nm} \sim 80\text{nm}$ 成長させる。

【0034】次に、基板温度を 1050°C 程度まで昇温し、Mgドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5を $0.1\mu\text{m} \sim 0.3\mu\text{m}$ 程度成長させ、続いてMg高ドープ $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層6を $50\text{nm} \sim 0.2\mu\text{m}$ 成長させる(同図(a)参照)。

【0035】次に、一旦、ウェハーを成長室から取り出し、Mg高ドープ $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層60の上に、例えば、 SiO_2 又は Si_3N_4 からなる絶縁膜13を形成し、続いて、通常のフォトリソグラフィ技術を用いて、Mg高ドープ $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層60の上の絶縁膜13の一部を、例えばストライプ状に形成する(同図(b)参照)。

【0036】続いて、このウェハーをウェットエッチング又はドライエッチングにより、Mg高ドープ $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層60及びMgドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5にストライプ状の凸部を形成するためエッチング14を施す(同図(c)参照)。

【0037】ここで、図1に示す、凸部のストライプ幅Wは、 $W = 2\mu\text{m} \sim 4\mu\text{m}$ 、後述の電流阻止層7と $\text{In}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{N}$ 活性層4との間隔t(より具体的には、後述のN型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 表面蒸発保護層6と $\text{In}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{N}$ 活性層4との間隔)は、 $t = 0.1\mu\text{m}$ 程度に制御される。

【0038】次に、再び、ウェハをMOCVD装置のサセプタ上に導入し、2回目の結晶成長を行う。

【0039】この成長工程では、まず、基板温度を400℃～650℃程度に設定し、露出したMgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層5上にN型 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 表面蒸発保護層6を20nm～100nm程度積層する。次に、基板温度を1050℃程度まで昇温し、N型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 電流阻止層（内部電流阻止層）7を0.5μm～1μm程度選択成長させる（同図（d）参照）。

【0040】ここで、低温基板温度にて積層したN型 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 表面蒸発保護層6は多結晶であるが、この表面上に再成長するために基板温度の昇温中に表面蒸発保護層6は多結晶から単結晶になるので、特にN型電流阻止層7の結晶性に悪影響をおよぼすことはない。

【0041】次に、一旦、ウェハを成長室から取り出し、絶縁膜13、例えば SiO_2 又は SiN_x 13をフッ酸系エッチング液にて除去する（同図（e）参照）。

【0042】次に、再び、ウェハをMOCVD装置のサセプタ上に導入し、3回目の結晶成長を行う。

【0043】この成長工程では、まず、基板温度を1050℃程度まで昇温し、N型電流阻止層7等を覆うようにしてMgドープGa N コンタクト層8を0.5μm～1μm程度成長させる（同図（f）参照）。

【0044】次に、ウェハをMOCVD装置から取り出し、 N_2 雰囲気下で、800℃にて熱処理を行い、Mgドープ層をP型に変化させる。その後、P型Ga N コンタクト層8の上にP型用電極9を形成する。また、N型Si C 基板1の底面にN型用電極10を形成する（同図（g）参照）。

【0045】以上の製造プロセスを経て、図1に示す断面構造の窒化ガリウム系化合物半導体レーザが作製される。

【0046】以上のように、本実施形態1の窒化ガリウム系化合物半導体レーザによれば、エッチング工程によって露出した凸形状を持つクラッド層5の表面上に表面蒸発保護層6を積層するので、再成長のための昇温中に、Ga、N、不純物等が蒸発することがないので、露出した凸形状を有するクラッド層5の表面、凸部のストライプ幅W及び電流阻止層7と活性層4との間隔tの形状変形が発生する問題はなくなる。このため、本実施形態1によれば、品質の高い再成長界面を持つ電氣的及び光学的特性に優れ、高い信頼性の光導波構造を持つ内部電流阻止型窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現できる。

【0047】（実施形態2）図3は本発明窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の実施形態2を示す。本実施形態2も、本発明を窒化ガリウム系化合物半導体レーザに適用した例を示す。

【0048】なお、本実施形態2においても、上記同様

に、MOCVD法を用い、V族原料、III族原料、P型不純物、N型不純物及びキャリアガスの種類についても上記同様である。

【0049】以下に、図3（a）～（g）に基づき、本実施形態2の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造プロセスを説明する。

【0050】まず、1回目の結晶成長を行うため、P型Si C 基板11をMOCVD装置のサセプタ上に導入し、基板温度1200℃程度まで昇温し、表面処理を施す。次に、P型Si C 基板11の基板温度を500℃～650℃程度まで降温し、P型Si C 基板11にMgドープGa N バッファ層22を10nm～4μm程度成長させる。次に、基板温度1050℃程度まで昇温し、Mgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層33を0.1μm～0.3μm程度成長させる。

【0051】次に、基板温度を800℃～850℃程度に降温し、ノンドープ $In_{0.32}Ga_{0.68}N$ 活性層4を3nm～80nm成長させる。次に、基板温度を1050℃程度まで昇温し、N型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層5を0.1μm～0.3μm程度成長させ、N型高ドープ $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 層60'を50nm～0.2μm成長させる（同図（a）参照）。

【0052】次に、一旦、ウェハを成長室から取り出し、N型高ドープ $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 層60'の上に、例えば SiO_2 又は SiN_x からなる絶縁膜13を形成する。続いて、通常のフォトリソグラフィ技術を用いてN型高ドープ $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 層60'上の絶縁膜13の一部を、例えばストライプ状に形成する（同図（b）参照）。

【0053】次いで、このウェハをウエットエッチング又はドライエッチングにより、N型 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 層60'及びN型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層5にストライプ状の凸部を形成するためエッチング14を施す（同図（c）参照）。

【0054】ここで、凸部のストライプ幅Wは、 $W=2\mu m \sim 4\mu m$ 、後述の電流阻止層77と活性層4との間隔tは、 $t=0.1\mu m$ 程度に制御される。

【0055】次に、再び、ウェハをMOCVD装置のサセプタ上に導入し、2回目の結晶成長を行う。

【0056】この成長工程では、基板温度400℃～650℃程度にてMgドープ $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 表面蒸発保護層66を20nm～100nm程度成長させ、次に、基板温度を1050℃程度まで昇温し、Mgドープ $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 電流阻止層77を0.5μm～1μm程度選択成長させる（同図（d）参照）。

【0057】本実施形態2においても、低温基板温度にて積層された表面蒸発保護層66は多結晶であるが、この表面上に再成長するために基板温度の昇温中に表面蒸発保護層66は多結晶から単結晶になるので、特にN型電流阻止層7の結晶性に悪影響をおよぼすことはない。

【0058】次いで、一旦、ウェハを成長室から取り出し、絶縁膜13をフッ酸系エッチング液にて除去する(同図(e)参照)。

【0059】次に、再び、ウェハをMOCVD装置のサセプタ上に導入し、3回目の結晶成長を行う。

【0060】この成長工程では、基板温度を1050℃程度まで昇温し、N型GaNコンタクト層88を0.5μm~1μm程度成長させる(同図(f)参照)。

【0061】次に、ウェハをMOCVD装置から取り出し、N₂雰囲気下で、800℃にて熱処理を行い、Mgドープ層をP型に変化させる。その後、N型GaNコンタクト層88の上にN型用電極10を形成し、P型SiC基板11の底面にP型用電極9を形成する(同図(g)参照)。以上のプロセスを経て本実施形態2の窒化ガリウム系化合物半導体レーザが作製される。

【0062】本実施形態2においても、露出した凸形状を持つクラッド層表面上に表面蒸発保護層を有するので、実施形態1同様の効果を奏する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現できる。

【0063】(実施形態3)図4及び図5は本発明窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の実施形態3を示す。本実施形態3も、本発明を窒化ガリウム系化合物半導体レーザに適用した例を示す。但し、本実施形態3の窒化ガリウム系化合物半導体レーザは、基板としてサファイヤ基板1'を用い、N型GaN層2上にN型用電極10を形成する点が上記実施形態1及び実施形態2とは異なっている。

【0064】なお、本実施形態3においても、上記同様に、MOCVD法を用い、V族原料、III族原料、P型不純物、N型不純物及びキャリアガスの種類についても上記同様である。

【0065】以下に、図5(a)~(h)に基づき、本実施形態3の窒化ガリウム系半導体レーザの製造プロセスについて説明する。

【0066】まず、1回目の結晶成長を行うため、サファイヤ基板1'をMOCVD装置のサセプタ上に導入し、基板温度1200℃程度まで昇温し、表面処理を施す。次に、サファイヤ基板1'の基板温度を400℃~650℃程度まで降温し、サファイヤ基板1'の表面にAl_{0.05}Ga_{0.95}Nバッファ層2'を20nm~100nm成長させる。

【0067】次に、基板温度1050℃程度まで昇温し、N型GaN層2を0.5μm~4μm程度成長させ、次に、基板温度1050℃程度まで昇温し、N型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層3を0.1μm~0.3μm程度成長させる。続いて、基板温度を800℃~850℃程度に降温し、ノンドープIn_{0.32}Ga_{0.68}N活性層4を3nm~80nm成長させる。

【0068】次に、基板温度を1050℃程度まで昇温し、MgドープAl_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層5を0.1

nm~0.3μm程度成長させ、続いてMg高ドープAl_{0.05}Ga_{0.95}N層60を50nm~0.2μm成長させる(同図(a)参照)。

【0069】次に、一旦、ウェハを成長室から取り出し、Mg高ドープAl_{0.05}Ga_{0.95}N層60の上に、例えばSiO_x又はSiN_xからなる絶縁膜13を形成する。続いて、通常的光リソグラフィ技術を用いてMg高ドープAl_{0.05}Ga_{0.95}N層60上の絶縁膜13の一部を、例えばストライプ状に形成する(同図(b)参照)。

【0070】次に、このウェハをウエットエッチング又はドライエッチングにより、Mg高ドープAl_{0.05}Ga_{0.95}N層60及びMgドープAl_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層5にストライプ状の凸部を形成するためエッチング14を施す(同図(c)参照)。

【0071】ここで、凸部のストライプ幅Wは、W=2μm~4μm、後述の電流阻止層7と活性層4との間隔tは、t=0.1μm程度に制御される。

【0072】次に、再び、ウェハをMOCVD装置のサセプタ上に導入し、2回目の結晶成長を行う。

【0073】この成長工程では、まず、基板温度400℃~650℃程度にて、N型Al_{0.05}Ga_{0.95}N表面蒸発保護層6を20nm~100nm程度成長させる。次に、基板温度を1050℃程度まで昇温し、N型Al_{0.15}Ga_{0.85}N電流阻止層7を0.5μm~1μm程度選択成長させる(同図(d)参照)。

【0074】本実施形態3においても、表面蒸発保護層6は多結晶であるが、この表面上に再成長するために基板温度の昇温中に表面蒸発保護層6は多結晶から単結晶になるので、特にN型電流阻止層7の結晶性に悪影響をおよぼすことはない。

【0075】次に、一旦、ウェハを成長室から取り出し、絶縁膜13をフッ酸系エッチング液にて除去する(同図(e)参照)。

【0076】次に、再び、ウェハをMOCVD装置のサセプタ上に導入し、3回目の結晶成長を行う。

【0077】この成長工程では、まず、基板温度を1050℃程度まで昇温し、MgドープGaNコンタクト層8を0.5μm~1μm程度成長させる(同図(f)参照)。

【0078】次に、ウェハをMOCVD装置から取り出し、N型GaN層2の表面が露出するまでエッチング15を施す(同図(g)参照)。

【0079】次に、ウェハをMOCVD装置から取り出し、N₂雰囲気下で、800℃にて熱処理を行い、Mgドープ層をP型に変化させる。その後、P型GaNコンタクト層8の上にP型用電極9を形成し、N型GaN層2の露出面にN型用電極11を形成する(同図(h)参照)。以上のプロセスを経て、図4に示す断面構造の窒化ガリウム系化合物半導体レーザが作製される。

【0080】本実施形態3においても、露出した凸形状を持つクラッド層表面上に表面蒸発保護層を有するので、実施形態1及び実施形態2同様の効果を奏する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現できる。

【0081】（実施形態4）図6は本発明窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の実施形態4を示す。本実施形態4の窒化ガリウム系化合物半導体レーザも、基板としてサファイヤ基板1'を用い、N型Ga_{0.95}N層88上にN型用電極10を形成している。

【0082】なお、本実施形態4においても、上記同様に、MOCVD法を用い、V族原料、III族原料、P型不純物、N型不純物及びキャリアガスの種類についても上記同様である。

【0083】以下に、図6(a)～(h)に基づき、本実施形態4の窒化ガリウム系半導体レーザの製造プロセスについて説明する。

【0084】まず、1回目の結晶成長を行うため、サファイヤ基板1'をMOCVD装置のサセプタ上に導入し、基板温度1200℃程度まで昇温し、表面処理を施す。次に、サファイヤ基板1'の基板温度を400℃～650℃程度まで降温し、サファイヤ基板1'にAl_{0.05}Ga_{0.95}Nバッファ層2'を20nm～100nm成長させる。

【0085】次に、基板温度1050℃程度まで昇温し、MgドープGa_{0.95}N層22を0.5μm～4μm程度成長させる。次に、MgドープAl_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層33を0.1μm～0.3μm程度成長させる。

【0086】続いて、基板温度を800～850℃程度に降温し、ノンドープIn_{0.32}Ga_{0.68}N活性層4を3nm～80nm成長させる。次に、基板温度を1050℃程度まで昇温し、N型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層55を0.1μm～0.3μm程度成長させる。続いて、N型高ドープAl_{0.05}Ga_{0.95}N層60'を50nm～0.2μm成長させる（同図(a)参照）。

【0087】次に、一旦、ウェハを成長室から取り出し、N型高ドープAl_{0.05}Ga_{0.95}N層60'の上に、例えばSiO₂又はSiN_xからなる絶縁膜13を形成する。続いて、通常のフォトリソグラフィ技術を用いて、N型高ドープAl_{0.05}Ga_{0.95}N層60'の上の絶縁膜13を、例えばストライプ状に形成する（同図(b)参照）。

【0088】次に、このウェハをウェットエッチング又はドライエッチングにより、N型高ドープAl_{0.05}Ga_{0.95}N層60'及びN型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層55にストライプ状の凸部を形成するためエッチング14を施す（同図(c)参照）。

【0089】ここで、上記各実施形態同様に、凸部のストライプ幅Wは、W=2μm～4μm、後述の電流阻止層77と活性層4との間隔tは、t=0.1μm程度に制御される。

【0090】次に、再び、ウェハをMOCVD装置のサセプタ上に導入し、2回目の結晶成長を行う。

【0091】この成長工程では、まず、基板温度を400℃～650℃程度にて、まず、MgドープAl_{0.05}Ga_{0.95}N表面蒸発保護層66を20nm～100nm程度積層し、次に、基板温度を1050℃程度まで昇温し、MgドープAl_{0.15}Ga_{0.85}N電流阻止層77を0.5μm～1μm程度選択成長させる（同図(d)参照）。

【0092】本実施形態4においても、表面蒸発保護層66は多結晶であるが、この表面上に再成長するために基板温度の昇温中に表面蒸発保護層66は多結晶から単結晶になるので、特に電流阻止層77の結晶性に悪影響をおよぼすことはない。

【0093】次に、一旦、ウェハを成長室から取り出し、絶縁膜13をフッ酸系エッチング液にて除去する（同図(e)参照）。

【0094】次に、再び、ウェハをMOCVD装置のサセプタ上に導入し、3回目の結晶成長を行う。

【0095】この成長工程では、基板温度を1050℃程度まで昇温し、MgドープGa_{0.95}Nコンタクト層8を0.5μm～1μm程度成長させる（同図(f)参照）。

【0096】次に、ウェハをMOCVD装置から取り出し、MgドープGa_{0.95}N層22の表面が露出するまでエッチング15を施す（同図(g)参照）。

【0097】次に、ウェハをMOCVD装置から取り出し、N₂雰囲気下で、800℃にて熱処理を行い、Mgドープ層をP型に変化させる。その後、N型Ga_{0.95}Nコンタクト層88の上にN型用電極10を形成し、また、露出したMgドープGa_{0.95}N層22の上にP型用電極9を形成する（同図(h)参照）。以上のプロセスを経て、本実施形態4の窒化ガリウム系化合物半導体レーザが作製される。

【0098】本実施形態4においても、露出した凸形状を持つクラッド層表面上に表面蒸発保護層を有するので、実施形態1及び実施形態2同様の効果を奏する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現できる。

【0099】なお、上記の各実施形態では、本発明を窒化ガリウム系化合物半導体レーザについて適用する場合について説明したが、本発明は窒化ガリウム系化合物発光ダイオードについても同様に適用することが可能である。

【0100】

【発明の効果】以上の本発明によれば、露出した凸形状を有するクラッド層の表面上に低温基板温度で表面蒸発保護層を積層し、その後、基板温度を昇温して電流阻止層を積層する構成をとるので、例えば、Ga、N、不純物等が蒸発するのを防止できる。この結果、本発明によれば、露出したクラッド層表面の表面荒れを防止でき、

かつ、凸部のストライプ幅 W 及び電流阻止層と活性層の間隔 t の形状変形を発生することがない。

【0101】それ故、本発明によれば、品質の高い再成長界面を持つ電氣的特性及び光学的特性に優れ、信頼性を向上できる窒化ガリウム系化合物半導体レーザ、発光ダイオード等の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を実現できる、といった効果を奏することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態1を示す、窒化ガリウム系化合物半導体レーザの断面図。

【図2】本発明の実施形態1を示す、図1に示す窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造プロセスを示す工程図。

【図3】本発明の実施形態2を示す、窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造プロセスを示す工程図。

【図4】本発明の実施形態3を示す、窒化ガリウム系化合物半導体レーザの断面図。

【図5】本発明の実施形態3を示す、図4に示す窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造プロセスを示す工程

図。

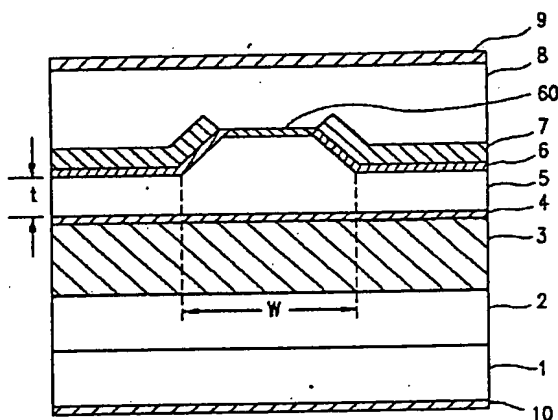
【図6】本発明の実施形態4を示す、窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造プロセスを示す工程図。

【図7】従来のInGaAlP系化合物半導体レーザを示す断面図。

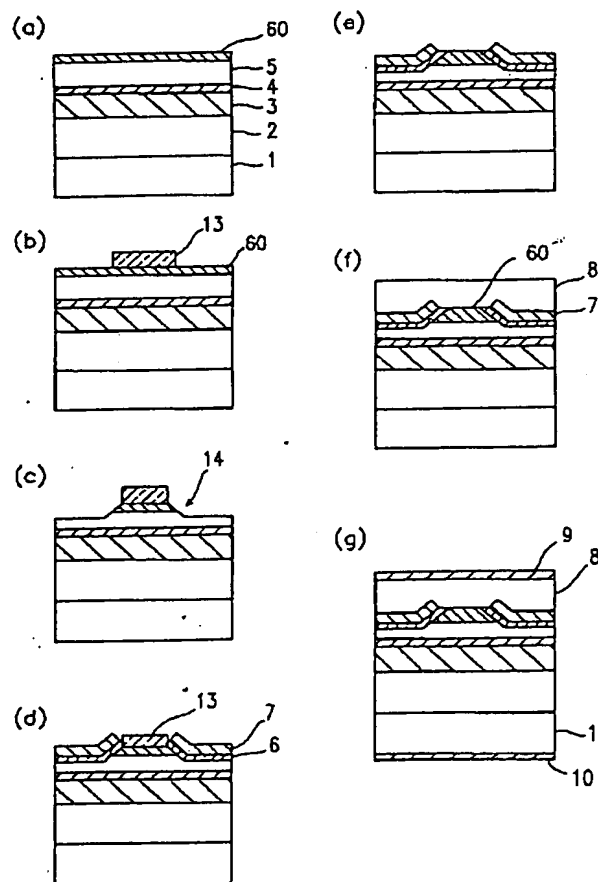
【符号の説明】

- 1 N型SiC基板
- 2 N型GaNバッファ層
- 3 N型AlGaNクラッド層
- 4 ノンドープInGaN活性層
- 5 MgドープAlGaNクラッド層
- 6 N型AlGaN表面蒸発保護層
- 7 N型電流阻止層
- 8 P型GaNコンタクト層
- 9 P型用電極
- 10 N型用電極
- 13 レジスト用の絶縁膜
- 14 エッチング
- 60 Mg高ドープAlGaN層

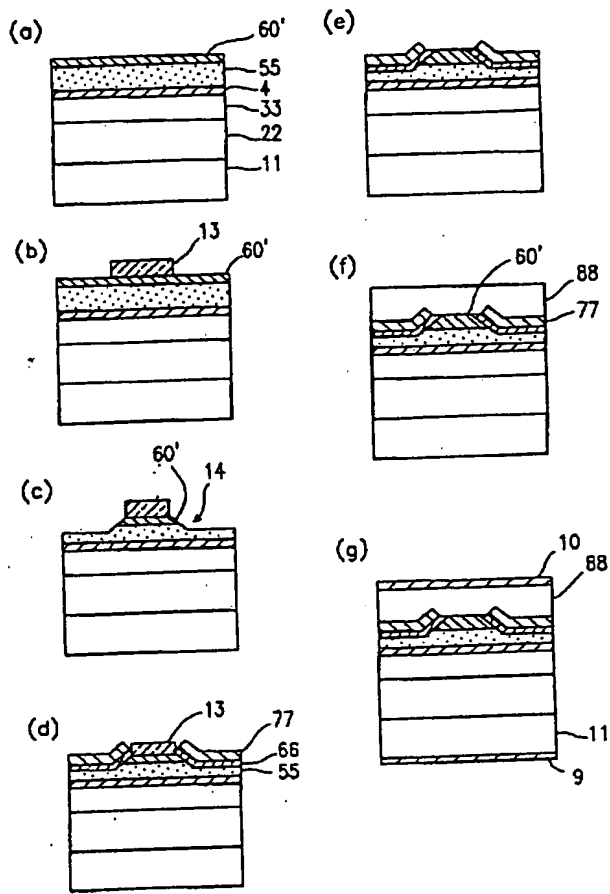
【図1】



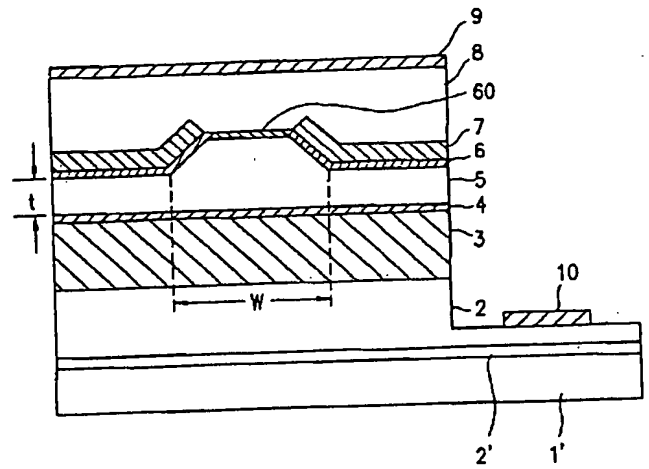
【図2】



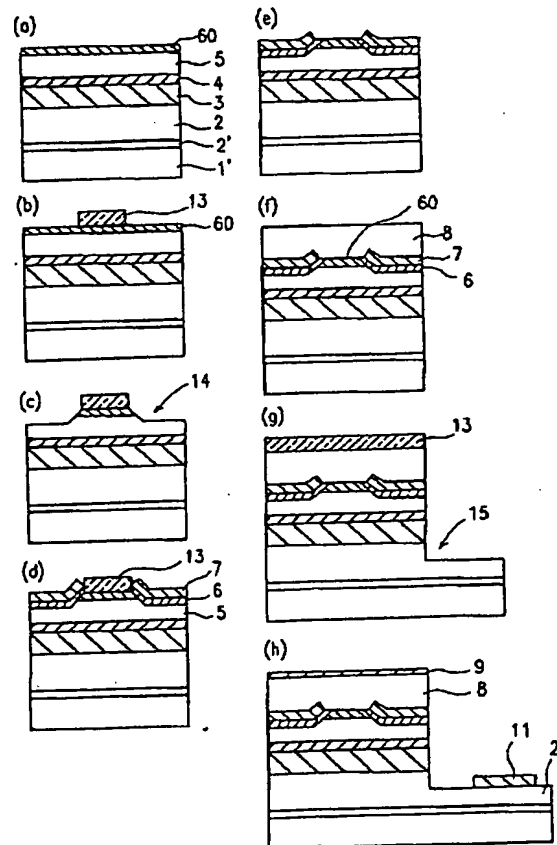
【図3】



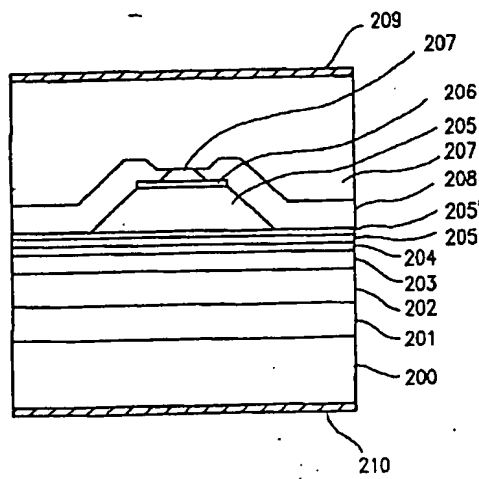
【図4】



【図5】



【図7】



【図 6】

